

АККРЕЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ МОЛОДЫХ
ДВОЙНЫХ СИСТЕМ С МАЛОМАССИВНЫМИ
ВТОРИЧНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Т.В.ДЕМИДОВА

Поступила 29 августа 2009

Принята к печати 16 сентября

Исследуется аккреционная активность молодых двойных систем с маломассивными ($q = M_2 / M_1 \leq 0.1$) вторичными компонентами. Источником аккрецирующего вещества является общий диск, окружающий двойную систему и компланарный ее орбите. На основе газодинамических моделей таких систем рассчитаны значения темпа аккреции на компоненты и исследована их зависимость от фазы орбитального периода. Показано, что, несмотря на малую массу, вторичный компонент аккрецирует вещество в более высоком темпе по сравнению с главным компонентом. Этот вывод можно рассматривать как продолжение известных результатов Артимоновича и Любова на случай молодых двойных систем с неравными по массе компаньонами. Обсуждаются возможные астрофизические приложения теории.

Ключевые слова: *звезды:двойные:аккреционная активность*

1. *Введение.* Процесс аккреции вещества на молодую звезду из остатков протозвездного облака является одним из фундаментальных факторов, определяющих многие свойства спектральной и фотометрической активности молодых звезд на ранних стадиях их эволюции. Это верно также и применительно к тесным двойным системам, окруженным остатками вещества, из которого они образовались. Численное моделирование газодинамических процессов в таких системах методом SPH (Smooth Particle Hydrodynamics) показало [1], что в системах с неравными по массе компаньонами главным аккретором является менее массивный из них. При этом в моделях с эксцентрическими орбитами темп аккреции на компоненты системы зависит от фазы орбитального периода, достигая максимума вблизи периастра. Этот результат был подтвержден в работе Рожички и Лафлина [2], применившими конечно-разностный метод решения задачи, и что особенно важно, его подтвердили наблюдения тесных двойных систем с эксцентрическими орбитами [3-6].

Бэйт и Боннел [7] решили с помощью метода SPH несколько более общую задачу, когда на молодую двойную систему аккрецирует вещество с некоторым фиксированным значением удельного углового момента j_0 . Расчеты были выполнены для случая круговой орбиты в интервале отношений масс компонентов: $q = 0.1 - 0.8$. Было показано, что при

$j_0 \leq 0.5 j_k$, где i_k - удельный угловой момент на расстоянии большой полуоси от центра масс системы, главный компонент аккрецирует в более высоком темпе. При $j_0 \geq j_k$, наоборот, главным аккретором является вторичный компонент. При этом зависимость темпа аккреции от фазы орбитального периода не рассматривалась.

В перечисленных выше работах [1,2,7] рассматривались изотермические модели, в которых аккрецирующее вещество имело одинаковую температуру, а следовательно, и вязкость. Анализ неизотермических моделей был выполнен Гюнтером и Клеем [8] для случая двойных систем с круговыми орбитами и близкими по массе компаньонами. С этой целью уравнения газовой динамики решались численными методами совместно с уравнением теплового баланса. Расчеты этих авторов также подтвердили пульсирующий характер аккреции в системах с эксцентрическими орбитами.

В статье Артимовича и Любова [1] минимальное отношение масс компонентов было ограничено значением $q = 0.43$. Бэйт и Боннел [7] рассмотрели модели с отношением масс компонентов q до 0.1, ограничившись круговыми орбитами. Цель настоящей статьи состоит в том, чтобы исследовать поведение темпа аккреции с фазой орбитального периода в двойных системах с маломассивными компаньонами в общем случае эксцентрических орбит.

2. Метод расчетов. В статье Сотниковой и Гринина [9] подробно описан метод расчета газодинамических течений и волн плотности в молодой двойной системе, выполненный с помощью алгоритма SPH. Эти расчеты позволяют определить темп аккреции на главный и вторичный компоненты системы. Источником аккрецирующего вещества является общий диск, окружающий двойную систему. Предполагается, что диск изотермичен и компланарен плоскости орбиты. Для определения темпа аккреции пробных частиц используется та же методика, что и в статье Артимовича и Любова [1]: частицы, попадающие в окрестность главного и вторичного компонентов радиусом 0.3 радиуса соответствующей полости Роша, считаются захваченными компонентами. Главная трудность таких расчетов в задаче с маломассивными вторичными компонентами заключается в том, что количество частиц, аккрецирующих за единичный интервал фазы орбитального периода (он принимался равным 1/64 периода) мало. Поэтому для уменьшения влияния случайных флуктуаций при вычислении фазовых зависимостей темпа аккреции на компоненты системы $\dot{M}_1$ и $\dot{M}_2$ выполнялась свертка текущих значений $\dot{M}_1$ и $\dot{M}_2$ с орбитальным периодом для интервала времени равного 50-ти оборотам системы.

3. Результаты. Представленные ниже результаты получены на основе газодинамических моделей, рассчитанных методом SPH в статье [10]. Описанным выше методом были рассчитаны зависимости темпа аккреции от фазы орбитального периода. Параметры моделей приведены в табл.1.

Здесь e - эксцентриситет орбиты, c - скорость звука в диске в единицах скорости орбитального движения вторичного компонента при $e=0$. Начальное количество пробных частиц в общем диске равно 60000, длина сглаживания $h=0.1a$, где a - большая полуось орбиты двойной системы. Орбитальный период P принят равным 5 годам. Масса главного компонента равна $2M_{\odot}$.

Таблица 1

ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛЕЙ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ

Модель	e	q	c
1	0.5	0.1	0.05
2	0.5	0.03	0.05
3	0.5	0.01	0.05
4	0.3	0.1	0.05
5	0.5	0.1	0.02

На рис.1-4 представлены фазовые зависимости темпа аккреции на компоненты системы. По оси ординат указано количество пробных частиц, захваченных компонентами. Из графиков видно, что доминирующее состояние вторичного компонента, как главного аккректора, сохраняется

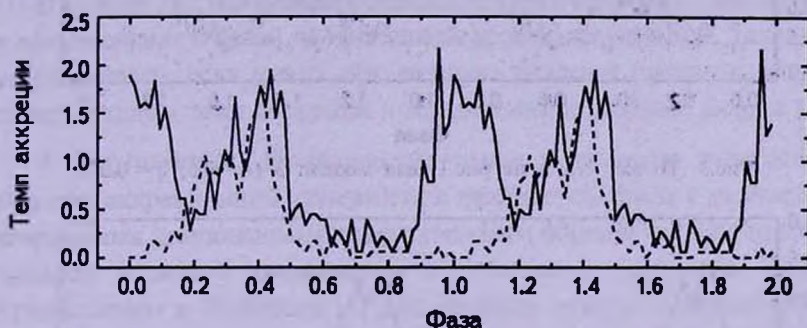


Рис.1. Фазовая зависимость темпа аккреции для модели 1 ($e=0.5$; $q=0.1$). Пунктирной линией показан темп аккреции на главный компонент системы, сплошной - на вторичный. По оси ординат указан темп аккреции пробных частиц в единицу времени, равную $1/64$ орбитального периода.

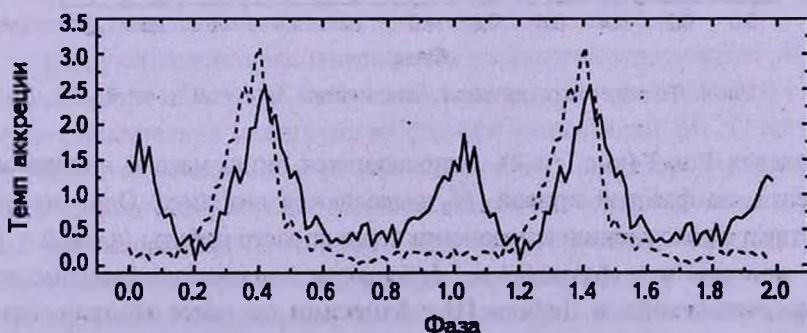


Рис.2. То же, что и на рис.1, для модели 3 ($e=0.5$; $q=0.01$).

вплоть до самых малых отношений масс компонентов ($q = 0.01$). Объясняется это тем, что маломассивный компаньон движется по своей орбите недалеко от внутренней границы общего диска, тогда, как главный компонент находится в центре полости свободной от вещества. Вещество в эту область частично привносит маломассивный компонент, пополняющий свой аккреционный диск в апоастре орбиты. В периастре орбиты вследствие приливных возмущений он отдает часть вещества из собственного аккреционного диска главному компоненту. Сравнение с результатами, полученными для двойных систем с неравными, но близкими по массе компаньонами [1,2] показывает, что при малых значениях q темп аккреции на главный компонент системы по-прежнему максимален вблизи периастра системы, тогда как фазовая зависимость темпа аккреции на маломассивный компонент имеет более сложный характер.

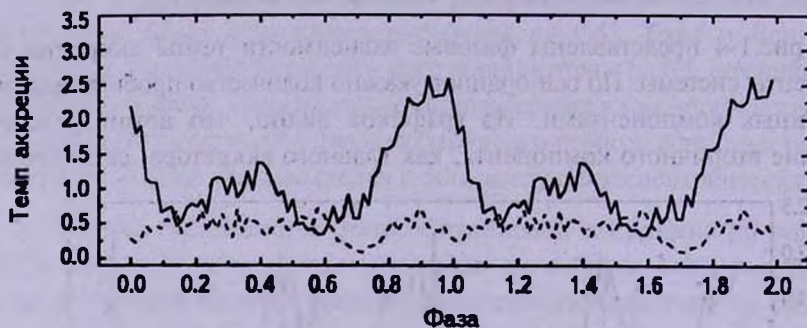


Рис.3. То же, что и на рис.1, для модели 3 ($e = 0.5$; $q = 0.01$).

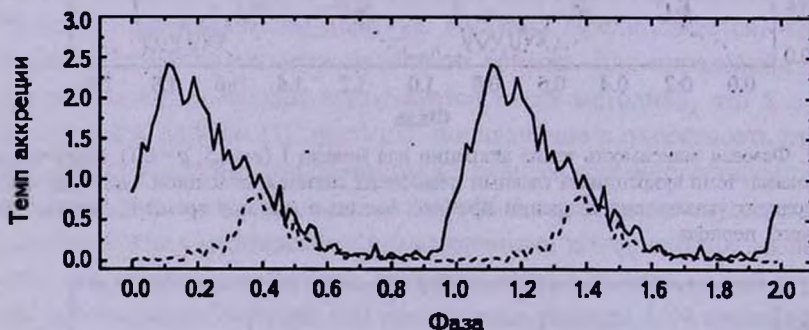


Рис.4. То же, что и на рис.1, для модели 4 ($e = 0.3$; $q = 0.1$).

В моделях 1 и 2 (рис.1 и 2), отличающихся лишь массой вторичного компонента, на фазовой кривой $\dot{M}_2$ выделяются два пика. Один из них соответствует прохождению компонента через апоастр орбиты (фазы 0 и 1), второй - соответствует фазам 0.4 и 1.4, близким к периастру. Заметим, что в моделях Артимовича и Любова [1] с близкими по массе компаньонами первый из указанных выше максимумов на фазовой зависимости $\dot{M}_2$ лишь

едва намечается. Второй максимум совпадает с максимумом на фазовой зависимости темпа аккреции на главный компонент системы. При этом высота второго пика в модели 2 ($q=0.03$) больше, чем в модели 1 ($q=0.1$).

В модели 3 (рис.3) с минимальным из рассмотренных нами значений массы вторичного компонента ($q=0.01$) темп аккреции на вторичный компонент значительно превышает темп аккреции на главный компонент системы. Фазовая зависимость $\dot{M}_2$ также имеет два пика, как и в описанных выше моделях. Первый пик слабее второго. Фазовая кривая темпа аккреции на главный компонент не содержит выделенных максимумов.

Таким образом, с уменьшением массы вторичного компонента двойной системы увеличивается амплитуда колебаний темпа аккреции на маломассивный компонент, первый пик на фазовой зависимости $\dot{M}_2$ становится слабее, одновременно слабеет темп аккреции на главный компонент.

В модели 4 (рис.4), отличающейся от модели 1 лишь эксцентриситетом орбиты, фазовые зависимости темпа аккреции на компоненты системы имеют по одному максимуму, положение которых слегка смещено по фазе примерно на 0.2 периода. Амплитуда колебаний темпа аккреции на вторичный компонент больше, чем на главный.

В модели 5 (с наименьшей вязкостью) темп аккреции становится малым и его изменения с фазой не превышают уровень флуктуаций. Такой результат не удивителен, если учесть, что вязкость является основным параметром, определяющим темп аккреции в моделях аккреционных дисков [11].

4. Заключение. Приведенные выше результаты показывают, что характер аккреционной активности в двойных системах с маломассивными вторичными компонентами чувствительным образом зависит от параметров моделей и может качественно отличаться от решений, полученных Артимовичем и Любовым [1] для двойных систем с близкими по массе компаньонами. В моделях с большим эксцентриситетом ($e=0.5$) на фазовой зависимости $\dot{M}_2$ имеются два максимума - вблизи апоастро и вблизи периастро орбиты. При этом амплитуда второго максимума, приближенно совпадающего по фазе с максимумом темпа аккреции на главный компонент, растет с уменьшением массы вторичного компонента.

При уменьшении эксцентриситета на фазовой зависимости $\dot{M}_2$ остается только один максимум - вблизи периастро, который немного смещен по фазе относительно максимума на фазовой зависимости $\dot{M}_1$. С уменьшением вязкости темп аккреции на оба компонента системы уменьшается. Для всех рассмотренных выше моделей общим является то, что темп аккреции на маломассивный компонент заметно превосходит темп аккреции на главный. Этот результат показывает, что заключение Артимовича и Любова [1] о доминирующей роли менее массивного компаньона, как главного аккретора в двойной системе, сохраняет силу и при $M_2 \ll M_1$.

Как отмечалось во *Введении*, изменения аккреционной активности молодых звезд могут сказываться на разнообразных характеристиках звезд. Так, у холодных молодых звезд типа Т Тельца большой вклад в излучение (особенно в ультрафиолетовой области спектра) дают горячие аккреционные пятна, светимость которых пропорциональна темпу аккреции на звезду. Темп истечения вещества в виде джетов и дискового ветра также пропорционален темпу аккреции, и его периодические изменения могут приводить к формированию периодических структур в джетах (которые, действительно, наблюдаются у ряда молодых звезд). У звезд, околозвездные диски которых наклонены под небольшим углом к лучу зрения (звезды типа UX Op), большой вклад в околозвездную экстинкцию может давать запыленный дисковый ветер [12], мощность которого также напрямую связана с темпом аккреции. В таких случаях вариации темпа аккреции на звезду могут приводить к изменениям околозвездной экстинкции (а следовательно, и блеска звезды) [13]. Полученные в данной статье результаты показывают, что перечисленные выше типы активности могут быть инициированы маломассивным компаньоном (например, коричневым карликом), масса которого в десятки раз меньше массы главного компонента.

Автор искренне благодарна Н.Я.Сотниковой за предоставление результатов газодинамических расчетов, использованных в данной статье, и В.П.Гринину за обсуждение полученных результатов и полезные советы. Автор благодарит также анонимного рецензента за сделанные замечания. Работа выполнена по программе Президиума РАН "Происхождение и эволюция звезд и галактик" при поддержке гранта НШ 1318.2008.2.

С. Петербургский государственный университет, Астрономический институт им. В.В.Соболева,
Главная астрономическая обсерватория РАН (Пулково),
Россия, e-mail: proximal@list.ru

ACCRETION ACTIVITY OF YOUNG BINARIES WITH LOW-MASS SECONDARY COMPONENTS

T.V.DEMIDOVA

Accretion activity of young binaries with the low-mass ($q = M_2 / M_1 \leq 0.1$) secondary components is investigated. The source of accreting matter is a circumbinary disc that is coplanar to the binary orbit. Hydrodynamical models of such systems were used to determine accretion rates onto the components.

and their dependence on the orbital phase. It is shown that most of the accretion occurs onto the low mass companion. This conclusion may be considered as an extension of the well-known results of Artymowicz and Lubow for young binary systems with components of unequal masses. Possible astrophysical applications are discussed.

Key words: *stars:binaries:accretion activity*

ЛИТЕРАТУРА

1. *P.Artymowicz, S.H.Lubow*, *Astrophys. J.*, **421**, 651, 1994.
2. *M.Rozyczka, G.Laughlin*, *ASPC*, **121**, 792, 1997.
3. *R.D.Mathieu, K.Stassun, G. Basri et al.*, *Astron. J.*, **113**, 1841, 1997.
4. *G.Basri, C.M.Johns-Krull, R.D.Mathieu et al.*, *Astron. J.*, **114**, 781, 1997.
5. *E.L.Martin, A.Magazzu, X.Delfosse, R.D.Mathieu et al.*, *Astron. Astrophys.*, **429**, 939, 2005.
6. *E.L.N.Jensen, S.Dhital, K.G.Stassun et al.*, *Astron. J.*, **134**, 241, 2007.
7. *M.R.Bate, I.A.Bonnell*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **285**, 1997.
8. *R.Gunther, W.Kley*, *Astron. Astrophys.*, **387**, 550, 2002.
9. *Н.Я.Сотникова, В.П.Гринин*, Письма в Астрон. ж., **33**, 667, 2007.
10. *Т.В.Демидова, В.П.Гринин, Н.Я.Сотникова*, готовится к печати, 2009.
11. *N.I.Shakura, R.A.Suynaev*, *Astron. Astrophys.*, **24**, 337, 1973.
12. *Л.В.Тамбовцева, В.П.Гринин*, Письма в Астрон. ж., **34**, 259, 2008.
13. *В.П.Гринин, А.А.Архаров, О.Ю.Барсунова, С.Г.Сергеев, Л.В.Тамбовцева*, Письма в Астрон. ж., **35**, 129, 2009.